

**КОСМОЛОГИЯ И АСТРОФИЗИКА**

УДК 523.11, 524.827, 539.12

Букалов А. В.

**ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПОЗИТРОННОГО ПОТОКА  
В ГАЛАКТИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ  
И МОДЕЛЬ ЯДРА ГАЛАКТИКИ***Физическое отделение Международного института соционики, г. Киев, Украина;  
e-mail: [boukalov@gmail.com](mailto:boukalov@gmail.com)*

Происхождение потока позитронов в центре Галактики с интенсивностью  $10^{43} \text{ с}^{-1}$ , дающих аннигиляционную линию 0,511 МэВ, остается неясным. Ни распад темной материи, ни аккреция на черную дыру не могут породить такой поток. Более того, наблюдения показывают отсутствие значительной аккреции газа на ядро Галактики. Поскольку зона аннигиляции позитронов равномерно окружает ядро Галактики, что исключает асимметричное излучение в виде джетов, и теоретическое объяснение наблюдаемых эффектов отсутствует, предложена новая модель ядра, масса которого необычно мала ( $\sim 10^3$ ) по сравнению с массами ядер подобных галактик. Исходя из теории возмущений хиггсовского вакуума по М.Ю. Хлопову и др., ядро Галактики рассматривается не как сверхмассивная черная дыра, а как стабильный реликт возмущений первичного вакуума, оставшийся после Большого Взрыва и не успевший сколлапсировать к настоящему времени. Это и позволяет описать наблюдаемый поток позитронов как следствие квантового испарения у горизонта ядра Галактики электрон-позитронных пар с интенсивностью одна пара за планковское время ( $I = (e^+ + e^-)/t_P$ ), причем температура ядра составляет  $T \approx 10^{9.5} \text{ К}$  при радиусе  $R \approx 1,2 \cdot 10^{12} \text{ см}$  и массе  $M_{NG} \approx 4 \cdot 10^6 M_\odot$ . Полученная интенсивность излучения точно совпадает с экспериментальными данными SPI/INTEGRAL по аннигиляции позитронов. Показано, что параметры ядра Галактики не случайны, а определяются космофизическими параметрами. Это обеспечивает его устойчивость и стабильность в течение  $1,4 \cdot 10^{10}$  лет. Рассмотрены возможности существования аналогичных ядер, большинство из которых может наблюдаться на  $z=3,5 \div 10$ , с квантовым испарением других элементарных частиц.

*Ключевые слова:* ядро Галактики, Sagittarius A\*, SPI/INTEGRAL, позитроны, аннигиляция, электрон-позитронная пара.

PACS number: **04.70.Dy****1. Введение**

Структура источников излучения в Галактическом центре — до сих пор нерешенный вопрос. Одной из наиболее трудных проблем представляется проблема «Большого Аннигилятора» — вопрос о происхождении мощного потока позитронов в Галактическом центре с энергией 0,511 МэВ. Излучение из центральной зоны Галактики с узкой линией аннигиляции позитронов на энергии 0,511 МэВ было обнаружено более 30 лет назад [6, 12, 19], однако природа этого явления до сих пор не понятна. До недавнего времени предполагалось, что источником этого излучения является радиоактивный  $\beta^+$ -распад  $^{26}\text{Al}$  или  $^{56}\text{Co}$ . Однако наблюдения обсерватории SPI/INTEGRAL позволили установить точное значение потока позитронов  $N = 2 \cdot 10^{43}$  частиц в секунду, которые аннигилируют в Галактическом центре вокруг ядра Галактики [14], что опровергает концепцию происхождения основного потока излучения от  $^{26}\text{Al}$  или  $^{56}\text{Co}$ .

Сомнительным выглядит также механизм рождения позитронов при аннигиляции темной материи: распределение ее плотности не соответствует распределению поверхностной яркости линии 0,511 МэВ в Галактике (рис. 1).

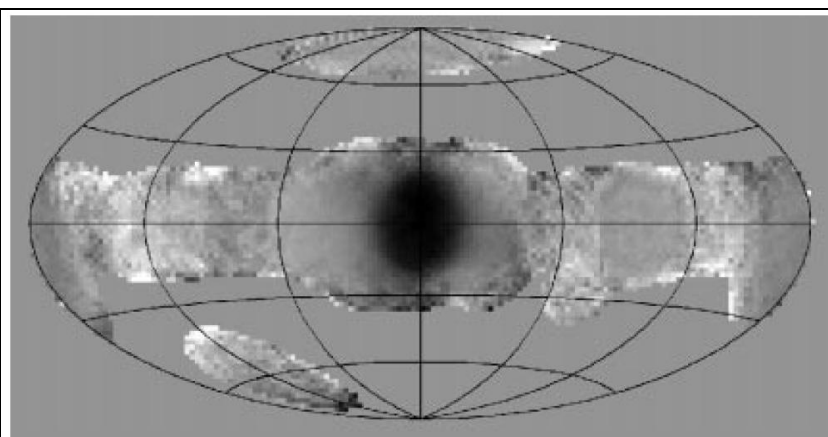
Никакой модели, объясняющей происхождение мощного потока позитронов в Галактическом центре, не существует. Как курьез можно упомянуть модель из 6000 (!) пульсаров, находящихся в Галактическом центре и дающих одинаковую аннигиляционную линию, связанную с рождением электрон-позитронных пар в магнитных полях пульсаров. В свете наблюдений SPI/INTEGRAL такая модель также представляется крайне нереалистичной.

Наблюдениями и анализом данных исключаются модели происхождения позитронов, связанные со сверхновыми второго типа и массивными звездами, а также модели рождения позитронов в результате взаимодействия космических лучей с веществом [12].

Мы предлагаем принципиально иную модель источника позитронов, которая хорошо описывает наблюдаемые процессы.

## 2. Возможная природа ядра Галактики

В настоящее время существует представление о ядре Галактики (Sagittarius A<sup>\*</sup>) как сверхмассивной черной дыре с массой  $M_G \sim 4 \cdot 10^6 M_\odot$ . При этом значительной аккреции газа на поверхность ядра не наблюдается. Не удивительно, некоторые авторы выражают сомнения в истинности такой модели, указывая на противоречия.



**Рис. 1. Распределение поверхностной яркости в линии 511 кэВ в Галактике.** Высокая поверхностная яркость отображается темным цветом. Карта построена в галактических координатах, ее центр соответствует центру Галактики. Карта сильно сглажена в процессе построения. Центральное пятно показывает, что поверхностная яркость аннигиляционного излучения велика в зоне центра Галактики и мала в остальных направлениях [12]. Размер пятна около 1 килопарсека.

По данным SPI/INTEGRAL, аннигиляция позитронов с энергией 0,511 МэВ происходит в зоне, окружающей ядро Галактики. Заметим, что эта зона аннигиляции имеет форму, близкую к сферической. Это говорит о том, что источником позитронов вероятней всего является само ядро Галактики. При этом, если бы позитроны излучались с полюсов вращающейся черной дыры, наблюдалась бы асимметрия в выбросе позитронов и резкое отклонение от сферической формы зоны аннигиляции.

Поскольку само ядро непосредственно нена-

блюдаемо, мы можем констатировать только тот факт, что в центре Галактики находится компактный объект с массой  $\sim 8 \cdot 10^{36}$  кг. Анализ распределения потока позитронов указывает, что само ядро может являться их источником. Анализ распределения потока позитронов указывает, что само ядро может являться их источником. Тогда кроме случая сверхмассивной черной дыры можно рассмотреть и другие возможности:

1. Поскольку темная материя конденсируется первой и создает возмущения плотности, необходимые для образования скоплений галактик, естественно предположить, что она может конденсироваться в плотные сверхмассивные фермионные объекты, которые не коллапсируют в черные дыры. В настоящее время теория таких объектов (т.н. «темных звезд») развивается некоторыми группами исследователей. Расчеты показывают, что возможно формирование стабильных темных звезд с массами  $10^6 - 10^9$  масс Солнца. Это не исключает процесса слияния нейтронных звезд, находящихся в центре Галактики, с темной звездой как вариант общепринятого, классического процесса формирования ядра Галактики.
2. Образование ядра как реликта Большого Взрыва, радиус которого близок к гравитационному.
3. Некий синтез первых двух случаев.

Рассмотрим более подробно второй вариант. В его рамках мы можем предположить, что ядро Галактики изначально сформировалось в ходе Большого Взрыва и эволюции вакуума как некая топологическая особенность, но, в отличие от более массивных ядер других галактик —

явных черных дыр с массами  $M \geq 10^8 M_\odot$ , не проэволюционировало в черную дыру. В связи с этим уместно поставить вопрос о возникновении особенностей в ходе фазовых переходов в ранней Вселенной [11], которые могут эволюционировать в локальные сгустки первичного или реликтового вакуума, превращаясь в объекты типа галактического ядра и, возможно, в квазары.

Так М. Ю. Хлопов показал, что при спонтанном нарушении  $U(1)$ -симметрии на инфляционной стадии флуктуации фазы комплексного хиггсовского поля охватывают большие пространственные области. Поэтому после фазового перехода с нарушением симметрии могут образовываться различные топологические особенности, например, замкнутые стенки. Коллапс этих стенок приводит к образованию скоплений черных дыр с массами, которые близки к массам ядер галактик [11]. Это дает новый подход к возможности описания образования ядер галактик без первичной конденсации пылевого облака. Кроме того, обнаружение в последнее время сверхмассивных черных дыр с массами около  $1,8 \cdot 10^{10} M_\odot$  ставит под сомнение класси-

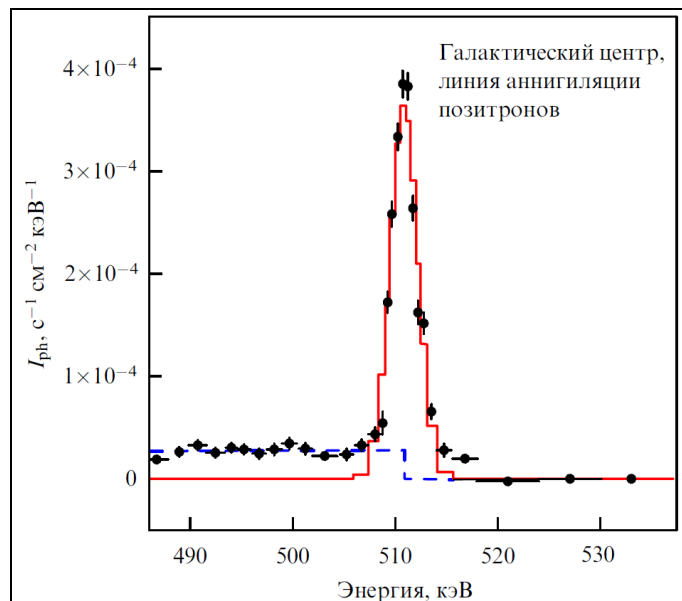
ческую теорию конденсации и формирования сверхмассивных черных дыр и заставляет серьезно относиться к моделям фазовых переходов в вакууме, которые приводят к образованию космических структур. Вероятно, для различных масштабов флуктуаций хиггсовского поля могут формироваться как массивные стенки, коллапс которых приводит к появлению сверхмассивных первичных ЧД (СПЧД), так и стенки, нити и другие особенности меньших масштабов, массы которых не хватает для коллапса. Задержавшись в своей эволюции, они могут превращаться в особые по свойствам объекты, например такие как квазары. В этой связи отметим, что светимость единицы объема излучающей области в районе ядра Галактики близка к объемной светимости квазаров [9]. По-видимому, протоядру нашей Галактики не хватило массы для эволюции в сверхмассивную черную дыру, т. к. его масса ( $8 \cdot 10^{36}$  кг) меньше наблюдаемых типичных масс ядер других галактик на 3 порядка.

Если это так, то к такому реликту применимы формулы, используемые для описания ранней Вселенной. Тогда, рассматривая ядро Галактики как сгусток первичного поля, находящегося в равновесии с рождающимся веществом и излучением,

Гравитационный радиус ядра [1]  $r_g = ct_g$  является величиной обратной аналогу постоянной Хаббла:

$$H^* = B_g = \frac{1}{t_g}. \quad (1)$$

Поэтому гравитационный радиус ядра Галактики определяет характер физических процессов под сферой Шварцшильда: величина  $t_g = r_g / c$  соответствует моменту времени  $t_i = t_g / 2$  эволюции нашей Вселенной в ходе Большого Взрыва. При этом, как и для Большого Взрыва, мы можем определять внутреннюю температуру вещества и излучения в ядре по стандартной формуле для эволюции Вселенной [7] в ходе Большого Взрыва:



**Рис. 2.** Спектр аннигиляционного излучения центральной зоны Галактики, полученный для одной из пространственных моделей распределения аннигиляционного излучения в Галактике. Точками показан вклад трехфотонного распада. Сплошная кривая соответствует линии на энергии 511 кэВ, штриховая кривая — трехфотонному континууму [12].

$$\rho = \sigma_{g_{eff}} T_B^4 = \frac{3}{32\pi G_N} \cdot \frac{1}{t_i^2} = \frac{3}{8\pi G_N} \cdot \frac{1}{t_g^2} = \frac{3M_N}{4\pi r_g^3}, \quad (2)$$

где  $\sigma$  — постоянная Стефана-Больцмана,  $g_{eff}$  — коэффициент, учитывающий вклад степеней свобод бозонов и фермионов,  $T_B$  — эффективная температура.

Откуда

$$T_B = \left( \frac{\rho}{\sigma_{g_{eff}}} \right)^{1/4} = \left( \frac{3}{8\pi G_N} \cdot \frac{1}{\sigma_{g_{eff}}} \cdot \frac{1}{t_g^2} \right)^{1/4}. \quad (3)$$

Таким образом, зависимость для внутренней температуры описывается соотношением

$$T_B \sim \frac{1}{\sqrt{R_g}} \sim \frac{1}{\sqrt{M_N}}, \quad (4)$$

в отличие от излучения Хокинга для горизонта черной дыры [10, 18]:

$$T_M \sim \frac{1}{R_g} \sim \frac{1}{M}. \quad (5)$$

Вероятно, такой реликт Большого Взрыва можно рассматривать как вариант белой дыры, у горизонта событий которой рождаются электрон-позитронные пары.

### 3. Электрон-позитронное излучение ядра Галактики

Гравитационный радиус ядра составляет  $r_{gN} \approx 1,2 \cdot 10^{10}$  м, соответствующий временной интервал  $t_{gN} \approx 40$  с. Эквивалентная температура, определенная по формуле (3) с учетом  $g_{eff} \approx 10,3$ , составляет  $T_N \approx 2,2 \cdot 10^9$  К,  $E = k_B T_N \approx 0,2$  МэВ.

$$E_{\max} \approx 1 \text{ МэВ} \approx 10^{10} \text{ К}. \quad (6)$$

Средняя энергия кванта составляет  $\langle E \rangle \approx 0,6 \text{ МэВ} \approx m_e c^2$ .

Легко заметить, что эти энергии близки к энергии рождения и аннигиляции электрон-позитронных пар и энергии покоя электрона и позитрона соответственно.

$$e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma \quad 2 \cdot 0,511 \text{ МэВ} \quad (7)$$

Процесс образования электрон-позитронных пар носит явно квантово-гравитационный характер. Об этом говорит наблюдаемая интенсивность процесса рождения и аннигиляции позитронов —  $2 \cdot 10^{43}$  частиц/с. Это означает, что один позитрон, точнее **электрон-позитронная пара рождается за интервал времени, практически равный планковскому**,  $t \approx t_{Pl} = 5,39 \cdot 10^{-44}$  с:

$$P \approx \frac{e^+ + e^-}{t_{Pl}}. \quad (8)$$

За время существования Вселенной,  $t_U = 4,3 \cdot 10^{17}$  с, ядро Галактики излучает  $N \approx 10^{61}$  электрон-позитронных пар.

Энергетический эквивалент излучения электрон-позитронных пар составляет

$$\dot{E} \approx \frac{10^{43} m_e c^2}{\text{сек}} \approx 10^{13} \left( \frac{\text{кг}}{\text{сек}} \right) c^2 \approx 10^{30} \text{ Дж/с} = 10^{37} \text{ эрг/с}. \quad (9)$$

За время Хаббла  $t_H$  такой выход энергии равен  $E \approx 10^{48} \text{ Дж} \approx 5 M_\odot c^2$ , то есть составляет эквивалент нескольких масс Солнца. При этом родившиеся позитроны способны пройти значительные расстояния до момента аннигиляции. Проведенный авторами [12] анализ показывает, что среднее время аннигиляции находится в интервале от  $10^4$  до  $10^6$  лет в зависимости от температуры фазы межзвездной среды, что вполне соответствует данным по поверхностной яркости (рис. 1), так как аннигиляционное излучение концентрируется в центральной области Га-

лактики размером в 1 килопарсек.

Из соотношения для мощности излучения электрон-позитронных пар ядром Галактики:

$$N = \frac{\dot{E}_{e^+e^-}}{t_{Pl}} = \frac{2m_e}{t_{Pl}} = 3,38 \cdot 10^{13} \text{ кг/сек} \quad (10)$$

следует и плотность этих электрон-позитронных пар:

$$\begin{aligned} \rho_{e^+e^-} &= P \cdot \rho_N = \frac{\hbar \omega_g}{4\pi kT} \cdot \rho_N = \frac{\hbar c / (2\pi R_g)}{kT} \cdot \sigma \kappa T^4 = \sigma \kappa T^3 \hbar \omega_g, \\ \rho_{e^+e^-} &= \frac{2m_e}{t_{Pl}} \cdot \frac{1}{4\pi R_g^2} = \frac{4m_e}{3m_{Pl}} \rho_N = \frac{4m_e}{3m_{Pl}} \sigma \kappa T^4 = 1,94 \cdot 10^{-15} \text{ кг/м}^3, \end{aligned} \quad (11)$$

где вероятность  $P = 10^{-22}$  проникновения электрон-позитронной пары или гамма-квантов эквивалентной энергии через гравитационный барьер ядра определяется рядом соотношений, в том числе — соотношением длины волны электрон-позитронной пары  $\lambda_\gamma = \lambda_e / 2$  и гравитационного радиуса ядра:

$$P = \hbar \omega_g / (kT) = 4m_e / (3m_{Pl}). \quad (12)$$

Заметим также, что

$$\frac{\hbar c}{G_N m_e^2} \cdot t_{Pl} = \alpha_{G_e}^{-1} t_{Pl} \approx t_g. \quad (13)$$

Соотношения (10)÷(13) показывают, по-видимому, неслучайность массы и размеров ядра Галактики. Рассмотрим этот вопрос.

Плотность энергии электронов в комптоновском объеме дает определенное значение кривизны пространства с радиусом  $R$ :

$$\rho_e = \frac{8\pi G}{c^4} \cdot \frac{m_e c^2}{\lambda_e^3} = \frac{1}{R_x^2}, \quad \lambda_e = \frac{\hbar}{m_e c}.$$

Отсюда

$$\frac{8\pi l_{Pl}^2}{\lambda_e^4} = \left( \frac{2\pi}{R_{NG}} \right)^2, \quad (14)$$

$$R_{NG} = \sqrt{\pi/2} \lambda_e^2 / l_{Pl} = \sqrt{\pi/2} \cdot \lambda_e^2 \sqrt{\frac{c^3}{G_N \hbar}}, \quad (15)$$

или

$$\frac{8\pi t_{Pl}^2}{t_e^4} = \left( \frac{2\pi}{t_{NG}} \right)^2 = \frac{8\pi \omega_e^4}{\omega_{Pl}^2} = 2\pi \nu_{NG}^2 = (\hbar \omega_{NG})^2, \quad (16)$$

где  $\lambda_e$  и  $m_e$  — комптоновская длина волны и масса электрона,  $l_{Pl}$ ,  $m_{Pl}$  и  $\omega_{Pl}$  — планковские длина, масса и частота, соответственно.

Мы видим, что значение радиуса ядра Галактики или, что эквивалентно, его массы, следует из условий равенства круговой частоты колебаний ядра отношению квадрата массы покоя электрона к массе Планка.

#### 4. Выводы

Таким образом, именно значениями массы электрона или позитрона и планковской массы определяются размер и масса ядра Галактики, излучающего электрон-позитронные пары за планковское время  $t_{Pl}$ . Это косвенно подтверждает высказанную нами ранее гипотезу [1], что ядро Галактики — это реликт Большого Взрыва и эволюции первичного поля, который оказался относительно стабильным в условиях резонанса, описываемого формулами (15)–(16).

Аналогичный объект с массой, близкой к массе Солнца будет испускать протон-антипротонные пары т. к. ее эффективная температура составит  $10^{13}$  К. Заметим, что недавно было обнаружено позитронное излучение, приходящее от невидимого объекта («темной звезды»), находящегося сравнительно недалеко от Земли [13].

Возможно, что аналогичные условия стабильности существуют для объектов меньшей массы  $M_i \sim 10^{-4} M_{NG}$ . Такие объекты могут испускать  $\pi^\pm$ -мезонное или  $\mu^\pm$ -лептонное излучение. Оценки показывают, что они испаряются в течение  $2 \cdot 10^9$  лет. Поэтому подобные аннигиляционные процессы в центрах галактик можно наблюдать на  $z=3 \div 10$ , и они будут отличаться от излучения малых первичных черных дыр, поиски которого ведутся в настоящее время.

### Л и т е р а т у р а :

1. Букалов А. В. О происхождении позитронов в Галактическом центре и природе ядра Галактики. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2006. — № 4. — С. 47–49.
2. Букалов А. В. Причина одномерности и необратимости времени. Возможный возраст Вселенной. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2002. — № 4. — С. 22–23.
3. Букалов А. В. О максимальной мощности астрофизических процессов. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2006. — № 4.
4. Зельдович Я. Б. Теория вакуума, быть может, решает загадку космологии // УФН, 1981, т. 133, вып.3. — С. 479–503.
5. Зельдович Я. Б., Новиков И. Д., Старобинский А. А. // ЖЭТФ, 1974, т. 66, С. 1897.
6. Кардашев Н. С. Феноменологическая модель ядра Галактики // Итоги науки и техники. Серия Астрономия. Т. 24. — М., 1983.
7. Кландор-Клайнротхаус Г. В., Цюбер К. Астрофизика элементарных частиц. — М.: Редакция журнала «Успехи физических наук», 2000. — 496 с.
8. Новиков И. Д., Фролов В. П. Физика черных дыр. — М., Наука, 1986. — 328 с.
9. Физика космоса: Маленькая энциклопедия. — М., Сов. энциклопедия, 1986. — 783 с.
10. Фролов В. П. // ЖЭТФ, 1974, т. 66, С. 813.
11. Хлопов М. Ю. Основы космофизици. — М.: Едиториал УРСС, 2004. — 368 с.
12. Чуразов Е. М., Сюняев Р. А., Сазонов С. Ю., Ревнивцев М. Г., Варшавович Д. А. Аннигиляционное излучение центральной зоны Галактики: результаты обсерватории ИНТЕГРАЛ // УФН, 2006, т. 176, № 3. — С. 334–339.
13. Adriani O. et al Observation of an anomalous positron abundance in the cosmic radiation. — arXiv:0810.4995 [astro-ph]
14. Churazov E. et al Positron annihilation spectrum from the Galactic Centre region observed by SPI/Intergal // Monthly notices of the Royal Astronomical Society. — 2005. — Vol. 357, Issue 4. — P. 1377.
15. Eardly P. M. // Phys. Rev. Lett., 1974, V. 33, P. 442.
16. Genzel R et al. // Nature, 2003, 425, 934.
17. Ghez A. M. et al Stellar orbits around the Galactic Center Black Hole // ApJ, 2005, 620, 744.
18. Howking S. W. // Phys. Rev. D, 14, 2460 (1976).
19. Johnson W. N. (III), Harnden F. R. (Jr), Haymes R. C. // Astrophys. J. **172** LI (1972).
20. Leventhal M., MacCallum C. J., Stang P. D. // Astrophys. J. **225** LII (1978).

Статья поступила в редакцию 10.03.2010 г.

Boukalov A. V.

### The origin of positrons in the Galactic Centre and model of the Nucleus of the Galaxy

The origin of a stream of positrons in the centre of the Galaxy with intensity  $10^{43} \text{ s}^{-1}$ , giving an annihilation line at 0.511 MeV, remains not clear. Neither disintegration of dark matter, nor accretion on a black hole can not generate such stream. Moreover, supervisions show absence gas accretion on the Nucleus of the Galaxy. Since the zone of annihilation of positrons surrounds the Nucleus of the Galaxy evenly, that excludes an asymmetric radiation as jets, the new model of the Nucleus is offered. Proceeding from the theory of perturbations of Higgs' vacuum by M.Yu.Khlopov, the Nucleus of the Galaxy, which weight it is unusually small ( $\sim 10^{-3}$ ) in comparison with weights of nuclei of similar galaxies, is considered not as a supermassive black hole, but as a stable relict of perturbations of the primary vacuum, remained after the Big Bang and not collapsed by this time. It also allows to describe an observable stream of positrons as consequence of quantum radiation electron-positron pairs with intensity of one pair for Plank's time ( $I=(e^++e^-)/t_{Pl}$ ) from the Nucleus of the Galaxy, which temperature makes  $T \approx 10^{9.5} \text{ K}$  at radius  $R \approx 1.2 \cdot 10^{12} \text{ sm}$  and at mass  $M_{NG} \approx 4 \cdot 10^6 M_\odot$ . The obtained intensity of radiation precisely coincides with experimental data SPI/INTEGRAL on annihilation of positrons. It is shown that parameters of the Nucleus of the Galaxy are not accidental, and it provides its constancy and stability during  $\sim 10^{14}$  years. There are considered the possibilities of supervision of radiation of similar sources, the majority from which can be observed on  $z=3.5 \div 10$  with the radiation of other elementary particles.

**Keywords:** Galactic Centre, Sagittarius A\*, SPI/INTEGRAL, positrons, annihilation, electron-positron pair.